

**Ф.В.НОВИКОВ, О.О. КЛОЧКО, О.А. ОХРИМЕНКО, О.О. АНЦИФЕРОВА, Є.В. БАСОВА**

### **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛОНАПРУЖЕНОСТІ ПРОЦЕСУ ІМПУЛЬСНОГО ПЕРЕРИВЧАСТОГО ШЛІФУВАННЯ**

Разроблена математична модель теплонапруженості процесу імпульсного переривчастого шліфування. Переривчасте шліфування застосовується для зменшення нагрівання поверхні, що шліфується за рахунок періодичного переривання її контакту з колом, тобто контакт при шліфуванні здійснюється зміни від шліфування до різання за рахунок наявності різальних крайок за рахунок формоутворення круга. Запропоновано імпульсне зубошліфування, де забезпечується постійний контакт шліфувального круга з оброблюваним зубчастим колесом, але імпульс зйому метала забезпечується за рахунок виконання пазів під кутом  $\lambda$ . Для цього на периферії кола виконуються пази. Розроблено різні форми пазів зубошліфувальних кругів, які забезпечують змішаний процес різання: швидкісного фрезерування за рахунок наявності різальних крайок і безпосередньо абразивного шліфування, що забезпечує зменшення нагрівання поверхні зубчатого колеса за рахунок періодичного змуну процесу зйому метала та значне зменшення засолювання шліфувального круга за рахунок переходу шліфування в різання.

**Ключові слова:** математична модель, теплонапруженість, імпульсне переривчасте зубошліфування, зменшення нагрівання, формоутворення круга, змішаний процес різання, швидкісне фрезерування, різальні леза, абразивне шліфування, періодична зміна процесу зйому метала, зменшення засолювання шліфувального круга.

**Ф.В.НОВИКОВ, А.А. КЛОЧКО, О.А. ОХРИМЕНКО, О.А. АНЦИФЕРОВА, Е.В. БАСОВА**

### **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОНАПРЯЖЕННОСТИ ПРОЦЕССА ИМПУЛЬСНОГО ПЕРЕРЫВИСТОГО ШЛИФОВАНИЯ**

Разработана математическая модель теплонапряженности процесса импульсного прерывистого шлифования. Прерывистое шлифование применяется для уменьшения нагревания поверхности, которая шлифуется за счет периодического прерывания ее контакта с кругом, то есть контакт при шлифовании осуществляется изменения от шлифования к резанию за счет наличия резательных покровок за счет формообразования круга. Предложено импульсное зубошлифования, где обеспечивается постоянный контакт шлифовочного круга с обрабатываемым зубчатым колесом, но импульс съема металла обеспечивается за счет выполнения пазов под углом  $\lambda$ . Для этого на периферии круга выполняются паза. Разработаны разные формы пазов зубошлифовальных кругов, которые обеспечивают смешанный процесс резания: скоростного фрезерования за счет наличия резательных покровок и непосредственно абразивного шлифования, которое обеспечивает уменьшение нагревания поверхности зубчатого колеса за счет периодического изменения процесса съема металла и значительное уменьшение засолки шлифовочного круга за счет перехода шлифования в резание.

**Ключевые слова:** математическая модель, теплонапряженность, импульсное прерывистое зубошлифование, уменьшение нагревания, формообразования круга, смешанный процесс резания, скоростное фрезерование, резательные лезвия, абразивное шлифование, периодическое изменение процесса съема металла, уменьшение засолки шлифовочного круга.

**F. NOVIKOV, A. KLOCHKO, O. OHRIMENKO, O. ANTSEFEROVA, Ye. BASOVA**

### **MATHEMATICAL MODEL OF THERMAL STRESS OF PULSED DISCONTINUOUS GRINDING PROCESS**

Mathematical model of thermal stress process of the impulsive irregular polishing. The irregular polishing is used for reduction of heating of surface that is polished due to the periodic breaking in of her contact with a circle, a contact at polishing comes true changes from polishing to cutting due to the presence of cutting backing due to shaping of circle. The impulsive offers gear grinding, where the permanent contact of grinding circle with processed a gear-wheel is provided, but the impulse of output of metal is provided due to implementation of slots under a corner  $\lambda$ . For this purpose on periphery of circle slots are executed. The different forms of slots of gear-grinding circles that provide the mixed process of cutting are worked out: speed milling due to the presence of cutting backing and directly abrasive polishing that provides reduction of heating of surface of gear-wheel due to periodic change of process output of metal and considerable reduction of pickling of grinding circle due to passing of polishing to cutting.

**Keywords:** mathematical model, thermal stress, impulsive irregular gear grinding, reduction of heating, shaping of circle, mixed process of cutting, speed milling, cutting blades, abrasive polishing, periodic change of process output of metal, reduction of pickling of grinding circle.

**Постановка проблеми.** Одним з головних напрямків розвитку машинобудування є підвищення працездатності деталей та узлів при одночасному зростанні кількості та різноманіття вироблених виробів. Проблема якості стосується не тільки готових конструкцій та деталей машин, але й найважливіше місце належить зубчастим колісам. Зубчасті передачі мають істотне значення для правильного функціонування багатьох пристроїв, а технологія їх виготовлення визначає якість і стабільність роботи вузлів і механізмів в різних умовах експлуатації. Безперервно підвищуються також вимоги по відношенню до якості вироблених зубчастих коліс. Крім високої міцності, жорсткості і точності високі вимоги пред'являються до властивостей і

характеристик поверхневого шару зубів зубчастих шлей, що формуються на остаточних етапах їх виготовлення. Розробляються нові методи обробки зубчастих вінців, удосконалюються вже існуючі методи, а також впроваджуються у виробництво нове обладнання і матеріали з тим, щоб в результаті обробки отримати відповідно сформований стан поверхневого шару зубчастих коліс в залежності від експлуатаційних навантажень. Тому значно підвищується інтерес до остаточної обробки зубчастих коліс, в тому числі, особливо до шліфування зубів.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** У роботах [1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10] в досліджено різні методи технологічного й організаційно-технологічного проектування виробничих систем, автоматизованого

нормування їхньої роботи в умовах дрібної серійності виготовлення деталей, обліку особливостей ерготехнічної системи, створення імітаційного моделювання процесів роботи.

Шліфування дозволяє досягати задану конструктором точність зубів зубчастого колеса, гарантуючи одночасно високу якість зубчастого вінця, що не означає, що цей процес також одночасно сприяє досягненню необхідного стану поверхневого шару. Це пов'язано з наявністю під час реалізації процесу шліфування численних факторів, що впливають на формування властивостей і характеристик поверхневого шару. Слід зазначити, що мова йде, перш за все, про такі зубчасті колеса, які піддавалися термічній або термохімічній обробці, і мали твердість понад 30 HRC. Тому процес шліфування повинен здійснюватися таким чином, щоб були відсутні прижоги, зберігалася висока мікротвердість поверхневого шару і т.п. Слід зауважити, що зміна стану поверхневого шару в процесі будь-якого технологічного впливу залежить не тільки від умов здійснення самого процесу, а й від конструктивних особливостей деталі (зубчастого колеса), які спільно з подальшою обробкою визначають формування стану поверхневого шару готової деталі. Тому процес формування необхідного, за умовами експлуатації, стану поверхневого шару зуба колеса необхідно розглядати в аспекті комплексного впливу конструктивних і технологічних факторів, що визначають в кінцевому рахунку, довговічність деталі і надійність роботи всього механізму - машини.

**Мета роботи** – забезпечення теплонапруженості процесу імпульсного переривчастого шліфування за рахунок формоутворення круга.

#### Виклад основного матеріалу

Переривчасте шліфування застосовується для зменшення нагрівання поверхні, що шліфується за рахунок періодичного переривання її контакту з колом, тобто контакт при шліфування здійснюється зміни від шліфування до різання за рахунок наявності різальних крайок за рахунок формоутворення круга. [1, 2, 3, 11]. Запропоновано імпульсне зубошліфування, де забезпечується постійний контакт шліфувального круга з оброблюваним зубчастим колесом, але імпульс зйому метала забезпечується за рахунок виконання пазів під кутом  $\lambda$ . Для цього на периферії кола виконуються пази. Розроблено різні форми пазів зубошліфувальних кругів, які забезпечують змішаний процес різання: швидкісного фрезерування за рахунок наявності різальних крайок і безпосередньо абразивного шліфування (рис.1). Таким чином, зменшується нагрівання поверхні зубчастого колеса за рахунок періодичного змуну процесу зйому метала, що забезпечує значне зменшення засолювання шліфувального круга за рахунок переходу шліфування в різання.

Переривання процесу різання знижує температуру в зоні різання і збуджує високочастотні коливання в пружній системі, зменшуючи тим самим енергоємність процесу. При переривчастому шліфуванні зменшення температури відбувається по двох каналах: за рахунок переривання процесу різання до того моменту, поки температура не досягла квазістаціонарного стану, і за

рахунок формоутворення круга поєднання двох ефектів створює нове рішення проблеми зниження теплонапруженості шліфування.

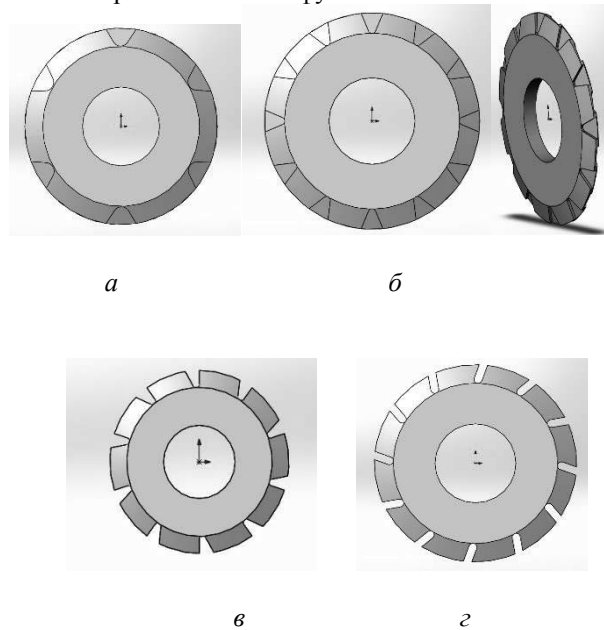


Рис. 1 - Шліфувальні круги для імпульсного зубошліфування з формою кішені: а – з наскрізним пазом з кутом  $90^\circ$ ; б – двустороння форми кішені типу V з кутом  $\lambda$  позитивним переднім кутом  $+\lambda$ ; в – з наскрізним пазом по типу дискової фрези з негативним переднім кутом  $-\lambda$

Жоден з відомих процесів шліфування по технологічним можливостям не може наблизитися до цього виду обробки. Системний підхід до вирішення цієї проблеми встановив передатні функції між вхідними фізичними і вихідними технологічними параметрами процесу шліфування, оцінити пайовий вклад роботи шліфування, що витрачається на різання і тертя в загальному енергетичному балансі процесу обробки. При імпульсному шліфуванні переривчастими кругами припуск віддається окремими шарами на рис. 2.

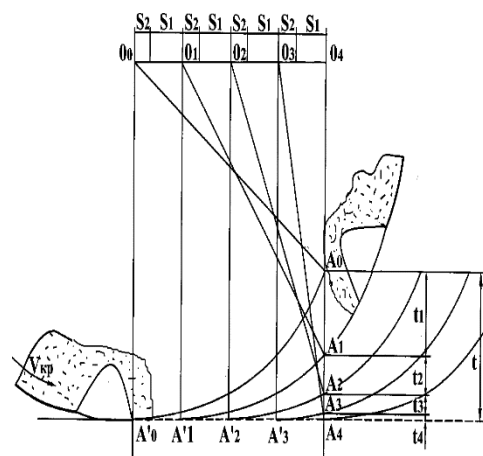


Рис. 2 – Схема пошарового видалення припуску при імпульсному шліфуванні кругами з кішеннями

Згідно з цією схемою, шліфувальний круг здійснює зворотно поступальний рух відносно шліфованого зубчастого колеса в межах зони контакту. Час роботи одним ріжучим лезом:

$$\tau_1 = \frac{S_1}{V_{\text{дет}}} = \frac{l_1}{V_{\text{кр}}}$$

Шліфувальний круг переміщується на величину:

$$S_1 = \frac{V_{\text{дет}} \cdot l_1}{V_{\text{кр}}}$$

а за час різання ріжучим лезом:

$$\Delta \tau = \frac{S_2}{V_{\text{дет}}} = \frac{l_2}{V_{\text{кр}}}$$

шліфувальний круг переміщується на величину 1.

де  $l_1$  - довжина різального виступу;  $l_2$  - довжина паза між виступами;  $V_{\text{кр}}$  - швидкість круга;  $V_{\text{дет}}$  - швидкість переміщення деталі.

Число різальних виступів, що контактують з металом за час руху центру шліфувального круга над зоною контакту, визначається по формулі:

$$n = \frac{\sqrt{Dt}}{(S_1 + S_2)} = \frac{\sqrt{Dt} \cdot V_{\text{кр}}}{V_{\text{дет}}(l_1 + l_2)}$$

Переріз  $A_0 A_4$  (рис.2) можна представити як адіабатичний стержень, до якого в точці  $A_0$  прикладено теплове джерело постійної інтенсивності  $q$ . В цьому випадку диференціальне рівняння теплопровідності можна записати у виді:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

При початкових і граничних умов:

$$T(x, \tau)_{\tau=0} = T_0,$$

$$T(x, \tau)_{\tau=0} = T_u$$

$$\left. \frac{\partial T(x, \tau)}{\partial x} \right|_{x=\infty} = 0$$

рішення цього диференціального рівняння має вигляд:

$$T = 2q \sqrt{\frac{\tau}{C p_m \lambda}} \operatorname{ierfc} \left( \frac{x}{2\sqrt{\alpha \tau}} \right) \quad (3)$$

де  $T_0$  - початкова температура деталі дорівнює температурі середовища, °C;  $T_u$  - температура теплового джерела (зони контакту), °C;  $C$  - теплоємність оброблюваного матеріалу, Дж/кг·°C;  $\rho_m$  - щільність оброблюваного матеріалу, кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності, Дж/м·с·°C.

Для математичного опису теплових процесів, що протікають в зоні контакту переривчастого круга,

розглянемо теплову схему, представлену на рис. 3. Для формування теплового імпульсу застосуємо принцип суперпозиції, тобто змістивши початок координат у напрямі осі  $\tau$  на величину  $t_i / \omega i$ , що відповідає часу роботи різального виступу, прикладемо до поверхні негативне (уявний) теплове джерело. Температуру на глибині  $x$  від проходження першого різального виступу можна розрахувати, якщо скласти два вираження, що описують температури для позитивного ( $q_1$ ) і негативного ( $-q_1$ ) теплових джерел. Після проходження западини, тобто через час, в роботу вступає другий різальний виступ.

$$T_1 = 2q_1 \sqrt{\frac{\tau - \frac{t_1}{\omega} - \Delta \tau}{C p_m \lambda}} \operatorname{ierfc} \left( \frac{x - t_1 - t_2}{2\sqrt{\alpha(\tau - \frac{t_1}{\omega} - \Delta \tau)}} \right);$$

$$T_2 = -2q_1 \sqrt{\frac{\tau - 2\frac{t_1}{\omega} - \Delta \tau}{C p_m \lambda}} \operatorname{ierfc} \left( \frac{x - t_1 - t_2}{2\sqrt{\alpha(\tau - \frac{t_1}{\omega} - \Delta \tau)}} \right); \quad (4)$$

Виразення для визначення температури на глибині  $x$  від дії до різальних виступів таке:

$$T_x = \frac{2}{\sqrt{C p_m \lambda}} \left[ \sum_{i=1}^n q_i \sqrt{\tau - (i-1)\left(\frac{t_1}{\omega} + \Delta \tau\right)} \operatorname{ierfc} \left( \frac{x - \sum_{i=1}^i t_i}{2\sqrt{\alpha(\tau - (i-1)\left(\frac{t_1}{\omega} + \Delta \tau\right))}} \right) - \sum_{i=1}^n q_i \sqrt{\tau - i\frac{t_1}{\omega} - (i-1)\Delta \tau} \operatorname{ierfc} \left( \frac{x - \sum_{i=1}^i t_i}{2\sqrt{\alpha(\tau - i\frac{t_1}{\omega} - (i-1)\Delta \tau)}} \right) \right] \quad (5)$$

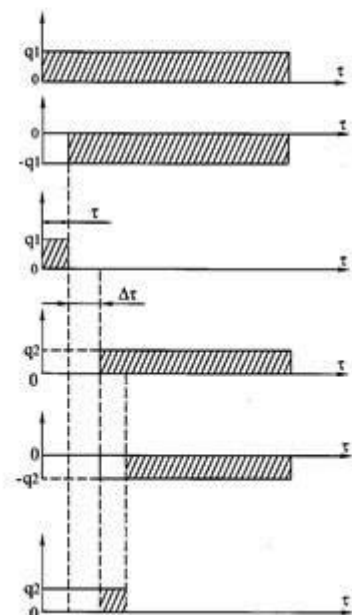


Рис. 3— Формування теплових імпульсів від роботи окремих різальних виступів за рахунок формоутворення кола

Лінійні і тимчасові параметри, що входять в це рівняння, можна виразити через параметри режиму шліфування і геометричні параметри переривчастого круга:

$$\tau = \frac{\sqrt{Dt}}{V_{\text{до}}}; \Delta \tau = \frac{l_2}{V_{\text{до}}}; \tau_1 = \frac{l_1}{V_{\text{до}}} = \frac{t_1}{a_1}; x = t$$

Після підстановки цих параметрів в рівняння (5), отримуємо:

$$T_z = \frac{2}{\sqrt{C_{\text{пл}}}} \left[ \sum_{i=1}^k \sqrt{\frac{Dt}{V_{\text{до}}}} - (i-1) \left( \frac{l_1 + l_2}{V_{\text{до}}} \right) \times \text{ierfc} \left[ \frac{t - \sum_{i=1}^k t_i}{2\sqrt{\alpha} \cdot \sqrt{\frac{D}{V_{\text{до}}} - (i-1) \left( \frac{l_1 + l_2}{V_{\text{до}}} \right)}} \right] - \right. \\ \left. - \sum_{i=1}^k q_i \sqrt{\frac{Dt}{V_{\text{до}}}} - (i-1) \left( \frac{l_1 + l_2}{V_{\text{до}}} \right) \times \text{ierfc} \left[ \frac{t - \sum_{i=1}^k t_i}{2\sqrt{\alpha} \cdot \sqrt{\frac{D}{V_{\text{до}}} - (i-1) \left( \frac{l_1 + l_2}{V_{\text{до}}} \right)}} \right] \right]$$

Як відомо [8-11], при переривчастому шліфуванні сила  $P_z$  пропорційна глибини різання  $t^{0.855}$  ( $P_z = t^{0.855}$ ). Щільність теплового потоку  $q$  прямопропорційна силі різання  $P_z$ , отже, пропорційна  $t^{0.855}$

$$q = \frac{P_z \cdot V_{\text{сп}} \cdot 0.8}{\sqrt{Dt} \cdot B}; q = \frac{t^{0.855}}{t^{0.5}}$$

Якщо зробити вимір потужності, що витрачається на різання, то можна розрахувати середню щільність теплового потоку

$$q_{\text{ср}} = \frac{0.8N}{\sqrt{Dt} \cdot B};$$

де  $B$  - ширина зразка, м;  $N$  - потужність, що витрачається на різання, Вт (визначається експериментально). Щільність теплового потоку  $q$  в різних точках по ширині зони контакту розраховується по формулі

$$q_i = \frac{q_{\text{ср}} t_i^{0.355}}{t_{\text{ср}}^{0.355}}$$

де  $t_{\text{ср}}$  - середня товщина зрізу по ширині зони контакту:

$$t_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{t}{n}$$

Для оцінки теплонапруженности процесів суцільного і переривчастого шліфування кружками з кішнями були зроблені розрахунки для зубчастого колеса зі 40ХНМ.

В таблиці 1 представлені розрахункові значення температур, що виникають на глибині зрізуваного припуску, у міру видалення шарів в перерізі  $A_0A_4$  (рис.2) різними різальними виступами.

$$L = \left[ 1 - \frac{T_{\text{np}}}{T_{\text{сн}}} \right] \cdot 100.$$

Показує, на скільки відсотків знижується температура при переривчастому шліфуванні в порівнянні з температурою суцільного шліфування.

На рис. 4 показані осцилограми температур при суцільному і переривчастому шліфуванні, отримані при швидкостях розгортки променя осцилографа моделі 3

розгортки променя осцилографа при переривчастому шліфуванні до  $1,2 \cdot 10^6$  с/см розширило щільність температурних сплесків на осцилограмі, але не дозволило записати температурні сплески від усього 12 різальний виступ за час проходження круг над зона контакт.

Таблиця 1 - Розрахункові значення температур, що виникають на глибині зрізуваного припуску, у міру видалення шарів в перерізі  $A_0A_4$  (рис.2) різними різальними виступами

Номер зрізуваного шару, К	Глибина зрізуваного шару, мм	$T^{\circ}\text{C}$ Суцільний круг	$T^{\circ}\text{C}$ Круг з кішнями	Ступінь зниження температури в, %
1	$2,404 \cdot 10^{-6}$	295,7	230,9	21,9
2	$2,20 \cdot 10^{-6}$	433,5	321,4	25,8
3	$1,9910^{-6}$	526,6	384,2	27,0
4	$1,78 \cdot 10^{-6}$	597,6	432,7	27,6
5	$1,57 \cdot 10^{-6}$	654,5	470,4	28,1
6	$1,4 \cdot 10^{-6}$	698,8	498,5	28,7
7	$1,2 \cdot 10^{-6}$	733,1	519,6	29,1
8	$0,93 \cdot 10^{-6}$	755,9	533,4	29,4
9	$0,72 \cdot 10^{-6}$	767,4	538,6	29,8
10	$0,51 \cdot 10^{-6}$	767,3	534,9	30,3

Слід зауважити, що температурні сплески на осцилограмах відповідають температурам, що виникають в зоні контакту круга з деталлю при перерізанні термопари. Величина температурних сплесків на осцилограмі пропорційна глибинам шарів у міру урізування круга на величину зрізуваного припуску в перерізі  $A_0A_4$  (рис.2).

З аналізу (рис. 4) видно зростання усередненої температури деталі. При проходженні різального виступу над термопарою відбувається сплеск температури, а при проходженні западини - експоненціальне її пониження. Слід зазначити, що за період проходження кішні на крузі температура знижується приблизно на 50-60% в порівнянні із з проходженням по суцільному кругу. При проходженні першого різального виступу температурний сплеск на осцилограмі дорівнює 67 мм, за період проходження западини температурний сплеск зменшився на 33 мм. При проходженні другого різального виступу відносний приріст температурного сплеску на осцилограмі дорівнює 37 мм, а величина пониження температури дорівнює 32 мм. Після проходження третього і четвертого різальний виступ на тлі зростаючий усереднений температура дорівнює 14 мм.

При звичайному шліфуванні (рис. 4, а) шліфувальний круг знаходиться в постійному контакті із зрізуваною термопарою. Отже, відбувається нагрів торця адіабатичного стержня упродовж усього періоду проходження круга над зоною контакту. Кількість тепла, що виділяється, в зоні різання пропорційна швидкості занурення круга в метал. Швидкість занурення різальних зерен круга в метал визначається по формулі:

$$\omega_i = \frac{V_{кр} t_i}{l_i} \quad (6)$$

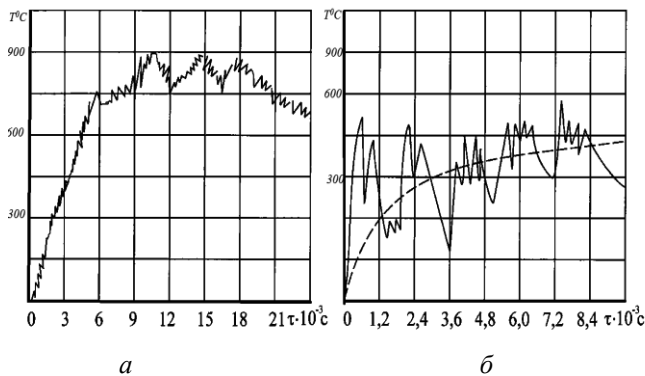


Рис. 4— Зміни температури на площині різку при звичайному (а) і переривчастому (б) шліфуванні кругами з кішенями ( $l_x=30$  мм,  $l_z=22,4$  мм)  $V_{кр}=35$  м/с;  $S_{обк}=1,2$  м/хв;  $t=0,10$  мм.

З аналізу формули (6) видно, що швидкість занурення зерен в метал  $\omega_i$  пропорційна товщині різку період урізування круга на глибину  $t$  зменшується.

**Висновки.** Переривчасте шліфування застосовується для зменшення нагрівання поверхні, що шліфується за рахунок періодичного переривання її контакту з колом, тобто контакт при шліфування здійснюється зміни від шліфування до різання за рахунок наявності різальних крайок за рахунок формоутворення круга.

Імпульсне зубошліфування забезпечує постійний контакт шліфувального круга з оброблюваним зубчастим колесом, але імпульс зйому метала забезпечується за рахунок виконання пазів під кутом  $\lambda$ .

Розроблено різні форми пазів зубошліфувальних кругів, які забезпечують змішаний процес різання: швидкісного фрезерування за рахунок наявності різальних крайок і безпосередньо абразивного шліфування.

Зменшується нагрівання поверхні зубчатого колеса за рахунок періодичного змуну процесу зйому метала, що забезпечує значне зменшення засолювання шліфувального круга за рахунок переходу шліфування в різання.

#### References (transliterated)

1. Анділахай О. О. Наукові основи ефективної оздоблювальної абразивної обробки деталей затопленими струменями: автореф. дис. докт. техн. наук : спец. 05.02.08 "Технологія машинобудування" / О. О. Анділахай. — Одеса : ОНПУ, 2013. — 47 с.
2. Базров, Б. М. Основы технологии машиностроения / Б. М. Базров. — М. : Машиностроение, 2005. — 736 с.
3. Кленов О. С. Повышение производительности и качества механической обработки на основе применения прогрессивных режущих инструментов / О. С. Кленов, Ф. В. Новиков, А. Г. Крюк // Вісник НТУ "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія : Нові рішення в сучасних технологіях. — Харків : НТУ "ХПІ". — 2013. — № 42 (1015). — С. 90-95.
4. Степанов М. С. Исследование структурных превращений и их влияние на поверхностный слой при зубошлифовании / М. С. Степанов, А. А. Ключко, О. А. Анцыферова // Вісник НТУ "ХПІ".

- Серія: Технології в машинобудуванні. — Х.: НТУ «ХПІ», 2015. — №40 (1149). С. 113-116. — Бібліогр.: 8 назв. — ISSN 2079-004X
5. Технологические процессы формирования поверхностного слоя зубчатых колес тяжелых токарных станков с ЧПУ / А.А. Ключко, Е.В. Мироненко, О.А. Анцыферова, Л.А. Макарова, В.Е. Киреев // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем : сб. науч. тр. — Краматорск : ДГМА, 2015. — Вып. 37. — С. 105–112.
  6. Ларшин В.П. Повышение производительности плоского шлифования на основе анализа трудоемкости процесса. — Тр. Одес. политехн. ун-та. — Одесса, 2002, вып.1(17). — С.60-64.
  7. Ларшин В.П., Гречиха А.А. О механизме действия твердых смазок на силы резания при шлифовании. — Вісник інженерної академії України, 2000, спец. вип. — С.215-218.
  8. Новіков Ф.В. Математична модель визначення шорсткості поверхні при абразивній обробці / Ф. В. Новіков, В. В. Нежебовський, В. Г. Шкурупій // Вісник НТУ "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. — Харків : НТУ "ХПІ", 2013. — № 5(979). — С. 199–210.
  9. Якимов А.В., Новіков Ф.В., Новіков Г.В., Якимов А.А. Алмазная обработка: Учеб. пособие. — К.: ІЗМН, 1996. — 168 с.
  10. Савчук, В.И. Технологические возможности финишных способов обработки абразивными брусками / В.И. Савчук, В.А. Иванов, М.А. Телетов // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. — 2005. — №11(83). — С. 140–145.
  11. Якимов А.В. и др. Тепловые процессы при обычном и прерывистом шлифовании. — Одесса: ОГПУ, 1998. — 272 с.
  12. John Cooper, Bruce DeRuntz, 2007, The Relationship Between the Workpiece Extension Length/Diameter Ratio and Surface Roughness in Turning Applications, Journal of Industrial Technology, Volume 23, Number 2, April 2007 through June 2007, p.p. 2 - 7

#### References (transliterated)

1. Andilakhay O. Naukov, the basis of the effective ozdobyuvnoy abrasive parts of the parts by flooded strings: the author's abstract. dis. Doct. tech. Sciences: spec. 05.02.08 "Technology of machine-building". O.O. Andilakhay. Odessa: ONPU, 2013. 47 p.
2. Bazrov B.M. The fundamentals of engineering technology. Moscow. Machine-building, 2005. 736 p.
3. Klenov O.S, Novikov F.V., Kryuk A.G. Increase the productivity and quality of machining based on the use of progressive cutting tools. Вісник НТУ "ХПІ". Zbirnik naukovykh prat. Series: New solutions in modern technologies. Kharkiv. NTU "KhPI". 2013. No. 42 (1015). pp. 90-95.
4. Stepanov M.S., Klochko A.A., Antsyferova O.A. Investigation of structural transformations and their influence on the surface layer during tooth grinding. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. - Kharkiv: NTU "KhPI", 2015. No40 (1149). pp. 113-116. - Bibliography: 8 references. - ISSN 2079-004X.
5. Klochko A.A., Mironenko E.V., Antsyferova O.A., Makatrova L.A., Kireev. VETechnological processes of formation of the surface layer of gears of heavy lathes with numerical control. Tool reliability and optimization of technological systems: Sat. sci. tr. Kramatorsk: DGMA, 2015. Issue. 37. P. 105-112.
6. Larshin V.P. Increase the productivity of flat grinding on the basis of the analysis of the labor intensity of the process. - Tr. Odessa. polytechnical. University. Odessa, 2002, vol.1 (17). pp.60-64.
7. Larshin V.P., Grechikh A.A. On the mechanism of action of solid lubricants on cutting forces during grinding. Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine. 2000. pp.215-218.
8. Novikov F.V., Nezhebovs'ky V.V., Shkurupiy V.G., A mathematical model of the viscous shorstkosti surface with abrasive obrobitsi. Вісник НТУ "ХПІ". Zbirnik naukovykh prat. Series: Mathematical modeling in engineering and technology. Kharkiv NTU "KhPI", 2013. No5 (979). pp. 199-210.
9. Yakimov A.V., Novikov F.V., Novikov G.V., Yakimov A.A. Al- osmosis treatment: Proc. allowance. Kiev. 1996. 168 p.
10. Savchuk, V.I., Ivanov V.A., Teletov M.A. Tehnologicheskyye vozmozhnosti fynyshnykh sposobov obrabotky abrazyvnyim bruskamy [Technological possibilities of finish ways of machining by abrasive bars]. Visnyk of Sumy State University. Series: Technical Sciences. 2005. No. 11 (83).— pp. 140–145.
11. Yakimov A.V. Thermal processes during conventional and

intermittent grinding. - Odessa: OGPU, 1998. 272 p.

- 12 John Cooper, Bruce DeRuntz, 2007, The Relationship Between the Workpiece Extension Length/Diameter Ratio and Surface Roughness in Turning Applications, *Journal of Industrial Technology*, Volume 23, Number 2, April 2007 through June 2007, p.p. 2 - 7.

Поступила (received) 14.05.2018

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Новіков Федор Васильович (Новиков Федор Васильевич, Fedor Novikov)** – доктор технічних наук, професор, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця завідувач кафедри; тел.: (067)-689-0342; e-mail: fokusnic1@rambler.ru;

**Клочко Олександр Олександрович (Клочко Александр Александрович, Alexander Klochko)** – доктор технічних наук, професор кафедри технологія машинобудування та металорізальні верстати Національного технічного університету «Харківський політехнічний університет», м. Харків; тел.: (067) 936-36-64; e-mail: ukrstanko21@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2841-9455

**Охріменко Олександр Анатолійович (Охрименко Александр Анатольевич, Oleksandr Ohrimenko)** – доктор технічних наук, доцент кафедри інтегрованих технологій машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ; тел.: (067) 267-69-43; e-mail: alexhobs77@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5446-6987

**Анциферова Олеся Олександрівна (Анцыферова Олеся Олександровна, Olesya Antsyferova)** - асистент кафедри технологія машинобудування та металорізальні верстати Національного технічного університету «Харківський політехнічний університет», м. Харків; тел.: (097)161-50-54; e-mail: ancyferova\_olesya@mail.ru, ORCID: 0000-0002-2154-6614

**Басова Євгенія Володимирівна (Басова Евгения Владимировна, Yevheniia Basova)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологія машинобудування та металорізальні верстати Національного технічного університету «Харківський політехнічний університет», м. Харків; тел.: (057)-720-66-25; e-mail: e.v.basova.khpi@gmail.com; ORCID: 0000-0002-8549-4788